# برهمکنش کادمیم و سطوح مختلف نیتروژن آلی و معدنی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه دارویی خرفه (*Portulaca oleracea*)

سیف‌اله فلاح[1*] و فتانه سلطانی‌نژاد[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۹/۱۱)

## چکیده

**به منظور بررسی برهمکنش کادمیم با سطوح مختلف نیتروژن آلی و معدنی بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه دارویی خرفه، آزمایشی در گلخانهٔ پژوهشی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۱ اجرا شد. تیمارهای نیتروژن شامل چهار سطح کاربرد جداگانه (۶۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک از منابع کود گاوی و کود اوره)، سه سطح کود تلفیقی (۹۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم به نسبت ۲:۱، ۱:۱ و ۱:۲ از منابع کود اوره و کود گاوی) و شاهد (عدم مصرف کود) به عنوان فاکتور اول و دو سطح کادمیم (۱۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک و عدم کاربرد کادمیم) به عنوان فاکتور دوم مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کادمیم باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدهای برگ، ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ و وزن خشک اندام هوایی گیاه شد. ولی افزایش مصرف نیتروژن، در شرایط کاربرد و عدم کاربرد کادمیم، موجب افزایش معنی‌دار صفات یاد شده گردید. بیشترین عملکرد خرفه در تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی حاصل شد. از طرفی، عملکرد خرفه در تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره با تیمار تلفیقی ۱:۱ از منابع کود گاوی و شیمیایی اختلاف معنی‌داری نداشت. به طور کلی، می‌توان اظهار نمود که با تأمین نیتروژن از منبع کود دامی نه تنها پتانسیل عملکرد خرفه افزایش می‌یابد، بلکه اثر تنش کادمیم بر رشد این گیاه نیز تعدیل می‌گردد.**

**واژه‌های کلیدی: گیاهان دارویی، تعدیل تنش، کود گاوی، کلروفیل، فلزات سنگین**

### مقدمه

خرفه با نام علمی *Portulaca oleracea* گیاهی علفی و یکساله از خانواده پرتولاکاسه (Portulacaceae) می‌باشد (۱۹)، که عمدتاً به صورت علفی و گوشتی رشد می‌کند (۱۵). قسمت‌های هوایی این گیاه در کشورهای زیادی مانند یک داروی دیورتیک، تب‌بُر، ضدعفونی‌کننده و ضد اسپاسم استفاده می‌شود (۴۵). خرفه به عنوان سبزی خوراکی هم استفاده می‌شود. ساقه‌ها و برگ‌های آن آبدار و خوردنی است. مزه‌ی آن نمکی و اسیدی است که مشابه اسفناج می‌باشد (۱۵). مطالعات نشان داده که خرفه منبعی غنی از اسیدهای چرب امگا-۳ (اسید لینولنیک- α) است (۴۱). این گیاه همچنین می‌تواند اثرهای مفیدی بر پیشگیری بیماری‌های قلبی- عروقی داشته باشد (۲۳). از طرفی، استفاده از خرفه به عنوان یک گیاه خوراکی و دارویی سابقه طولانی دارد، به طوری که در لیست سازمان بهداشت جهانی به عنوان گیاهی که دارای مصارف دارویی بسیاری می‌باشد، معرفی شده است (۴۲).

هم زمان با پیشرفت و توسعه صنایع، استخراج معادن، ذوب فلزات و مصرف کودهای شیمیایی حاوی عناصر سنگین آلودگی

۱. گروه آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: falah1357@yahoo.com

خاک‌ها به این عناصر به یک معضل جدی تبدیل شده است در بین فلزات سنگین، کادمیم دارای اهمیت ویژه‌ای است، زیرا به راحتی توسط سیستم گیاه جذب شده و سمیت آن برای گیاه ۲ تا ۲۰ برابر سایر فلزات سنگین می‌باشد. این فلز سنگین که از طریق آبیاری با پساب‌ها، استفاده از کودهای فسفاته، سوخت‌های فسیلی و حشره‌کش‌ها در کشاورزی و از طریق فاضلاب‌های شهری و صنعتی وارد خاک می‌شود. این فلز به دلیل تحرک زیاد در خاک و جذب توسط گیاه، سمیت قابل توجه، نیمه‌عمر بیولوژیک حدود ۲۰ سال، بروز عوارضی از جمله نارسایی کبد و کلیه، بیماری‌های قلبی- عروقی، استخوانی و ریوی در انسان دارای اهمیت خاصی می‌باشد (۳۲، ۳۷ و۴۱). در اراضی کشاورزی، کادمیم موجود در کودهای فسفره یکی از منابع عمده آلودگی خاک با این عنصر سمی است. نقش کودهای فسفره در آلودگی خاک با کادمیم و سمیت آن در گیاه در تحقیقات متعددی گزارش شده است (۱). معمولاً فلزات سنگین بین اجزای مختلف خاک توزیع شده‌اند و مقدار فلز در هر بخش، می‌تواند قابلیت دسترسی آن را تحت تأثیر قرار دهد (۴).

بر اساس نتایج پژوهشگران متعدد، قابلیت دسترسی فلزات در خاک تیمار شده با ترکیبات آلی، بسیار کمتر از خاک تیمار شده با منابع معدنی فلزات می‌باشد (۱۲) که آن را می‌توان به نقش بخش آلی و معدنی این ترکیبات در تثبیت فلز نسبت داد (۳۵). علاوه بر این، کاربرد کودها می‌تواند قابلیت دسترسی کادمیم را مستقیماً از طریق کادمیم موجود در کودهای فسفره و یا غیر مستقیم از طریق تغییر شرایط خاک تحت تأثیر قرار دهد. علاوه براین، کودها می‌توانند روی کمپلکس‌های کادمیم اثر گذاشته که در جذب کادمیم توسط ریشه و حرکت کادمیم در ریشه گیاه تأثیرگذار است. همچنین، محیط ریشه و به‌طور کلی رشد گیاه تحت تأثیر کاربرد کود قرار می‌گیرد (۴۹).

کودهای آلی یکی از منابع نیتروژن در تولید محصولات زراعی هستند که کاربرد آن‌ها باعث افزایش ریزجانداران مفید خاک مانند اکتینومیست‌ها می‌شود. علاوه بر این، این کودها با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، باعث افزایش فعالیت بیولوژیک در خاک می‌شوند (۱۵ و ۲۷). بررسی‌ها نشان داده‌اند که منابع زیستی (اُرگانیک) مانند کود دامی، در تلفیق با کود شیمیایی، می‌تواند به حاصل‌خیزی خاک و افزایش تولید محصول منجر شود، زیرا این نظام اکثر نیازهای غذایی گیاه را تأمین کرده و کارایی جذب مواد غذایی توسط گیاه را افزایش می‌دهد (۴۰).

در بررسی اثر سطوح مختلف کمپوست کود مرغی (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و سطوح مختلف کادمیم (صفر، ۲، ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ) بر گندم گزارش شده که با افزایش میزان کمپوست، عملکرد گیاه در شرایط کاربرد کادمیم و عدم کاربرد کادمیم افزایش می‌یابد، اما در شرایط عدم کاربرد کادمیم، عملکرد بیشتر است (۳۴). علاوه بر این، طی پژوهشی مشاهده شده که بیشترین عملکرد ریحان در خاک آلوده به کادمیم در تیمار۲۰ درصد کود گاوی حاصل شد و افزودن کود گاوی باعث کاهش ۸۲ درصدی در انباشتگی کادمیم در ساقه و ۶۱ تا ۶۳ درصد در ریشه‌ها در مقایسه با خاک تیمار شده با کادمیم بدون کود شد. کلاته شدن کادمیم توسط مواد آلی موجود در کود و نقش عناصر معدنی کودهای آلی در غیر متحرک کردن فلزات، عامل کاهش پویایی فلزات در خاک تیمار شده با کودهای آلی معرفی شد (۱۶). علاوه بر این، استفاده از مواد آلی در خاک‌های آلوده به فلزات می‌تواند اثر مهمی در افزایش سطح و تعداد مکان‌های جذب سطحی و رقیق‌سازی داشته باشد (۲۱).

مصرف گسترده کودهای فسفره در اراضی کشاورزی کشور، و به تبع آن افزایش کادمیم موجود در خاک (۴۱)، این نکته را به همراه دارد که ممکن است رشد گیاهان در چنین شرایطی دچار نقصان شود. از طرفی، علی‌رغم مصرف گسترده گیاه دارویی خرفه در رژیم غذایی، به دلیل مطالعات اندک اثر کادمیم ناشی از مصرف کودهای فسفاته، حتی برای گیاهی مشابه با خرفه (بافت‌های خرفه رطوبت زیادی دارند)، در این تحقیق، برهمکنش کادمیم و سطوح مختلف نیتروژن از منابع آلی و

**جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه**

| کلاس بافت | EC | pH | N | OC | P | K | Zn | Mn | Fe | Cu | Cd |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (dS/m) | | (٪) | | (mg/kg) | | | | | | |
| لوم رسی | ۰/۶۴ | ۸/۱۵ | ۰/۰۵۹ | ۰/۶۲ | ۶/۳ | ۳۷۱ | ۰/۴۸ | ۴/۲۸ | ۲/۸۹ | ۸/۷۶ | ۰/۷۳ |

**جدول ۲. ویژگی‌های شیمیایی کود گاوی مورد استفاده**

| pH | EC | N | OC | Na | $P_2O_5$ | $K_2O$ | Zn | Mn | Fe | Cu | Cd |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (dS/m) | (٪) | | | | | (mg/kg) | | | | |
| ۸/۱۷ | ۱۹/۶۱ | ۰/۹۶ | ۳۴/۱۵ | ۱/۲۳ | ۰/۲۹ | ۱/۰۲ | ۹۸/۱۵ | ۷۸/۱۹ | ۱۲۹ | ۴۹/۰۶ | ۳/۱۵ |

معدنی بر خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه دارویی خرفه در کشت گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی برهمکنش سطوح مختلف نیتروژن آلی و معدنی با کادمیم بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه دارویی خرفه، آزمایشی گلدانی در گلخانهٔ پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۱ انجام شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای مختلف نیتروژن شامل چهار تیمار کاربرد جداگانه (۶۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک از منابع کود گاوی و کود اوره)، سه تیمار تلفیقی (۶۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره + ۳۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی، ۴۵ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره + ۴۵ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی و ۳۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره + ۶۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی) و تیمار شاهد (عدم مصرف کود) به عنوان فاکتور اول و دو سطح کادمیم (عدم کاربرد کادمیم و ۱۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک) به عنوان فاکتور دوم مورد مطالعه قرار گرفتند. سطوح مختلف نیتروژن برای تعیین نیاز کودی گیاه خرفه اعمال گردید و تلفیق کود دامی با شیمیایی در راستای افزایش راندمان کوددهی انجام شد (۶). کادمیوم از منبع کلرید کادمیوم ($CdCl_2.H_2O$) می‌باشد که به صورت محلول در ۰/۵ لیتر آب مقطر، قبل از کشت، توسط افشانه به طور کامل با خاک هر گلدان مخلوط شد. برای تیمار کاربرد کادمیم، ابتدا موجودی کادمیم خاک (جدول ۱) و همچنین مقدار کادمیم اضافه شده از محل تیمار کودی (جدول ۲) محاسبه و سپس مقدار کلرید کادمیم لازم برای رسیدن به غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک اضافه گردید.

در اردیبهشت ماه، ابتدا خاک مزرعه تحقیقات کشاورزی دانشگاه شهرکرد به اندازه کافی تهیه و سپس مقدار ۱۰ کیلوگرم از خاک داخل گلدان‌هایی که قطرهای کوچک و بزرگ آنها به ترتیب ۲۲ و ۳۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر بود، ریخته شد و در تیمارهای دارای کود گاوی، این مقدار خاک کاملاً با کود مخلوط گردید. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده و همچنین ویژگی‌های شیمیایی کود گاوی مورد استفاده در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. کود گاوی به صورت نیمه پوسیده و الک شده به کار برده شد. همچنین ۵۰٪ کود اوره در هنگام کاشت و باقی‌مانده پس از برداشت چین اول گیاه خرفه به صورت سرک اضافه گردید. با توجه به فسفر موجود در کود گاوی، به خاک تیمار شده با کود اوره معادل فسفر کود گاوی، فسفر لازم از منبع سوپرفسفات تریپل به خاک افزوده شد. به دلیل کافی بودن پتاسیم خاک، هیچگونه کود پتاسیمی به خاک افزوده نشد.

بذرهای گیاه خرفه (توده محلی اهواز) در تاریخ ۱۶ اردیبهشت در هر گلدان (با تراکم ۷۰ بذر در گلدان) در عمق یک سانتی‌متری خاک کشت گردید. کشت به صورت خشکه‌کاری انجام شد و بلافاصله بعد از کاشت، آبیاری صورت گرفت. پس از سبز شدن گیاهان، آبیاری‌های بعدی بسته به نیاز هر ۳ تا ۵ روز یکبار انجام شد. در مرحله ۴ برگی، عملیات

تنک کردن انجام و تعداد گیاهچه‌ها به ۴۰ عدد کاهش یافت. در طول دوره آزمایش مراقبت‌های لازم از جمله وجین دستی علف هرز انجام گرفت.

اندام‌های هوایی گیاه در ابتدای گل‌دهی (۲۵ تیر ماه) از ارتفاع ۵ سانتی‌متری سطح خاک قطع شدند و سپس ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، وزن تر برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ و وزن خشک کل گیاه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام‌ها، ابتدا ساقه و برگ گیاه جدا گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس در آون قرار گرفتند. پس از خشک شدن، مجدداً نمونه‌ها توزین گردیدند. چین دوم نیز در تاریخ ۲۳ مرداد ماه برداشت گردید و صفات بررسی شده آن مشابه چین اول اندازه‌گیری شدند.

استخراج رنگیره‌های فتوسنتزی از برگ با استون ۸۰٪ و به روش لیختن‌تالر (۳۳) انجام گرفت. قبل از برداشت هر چین، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت تازه پهنک برگ در هاون با ۱۰ میلی‌لیتر استون سائیده شد تا یک بافت سبز رنگ باقی بماند. پس از آن به مدت ۵ دقیقه در دستگاه شیکر قرار گرفت. بعد در داخل لوله‌های سانتریفیوژ با ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه قرار داده شد تا یک محلول زلال سبز رنگ حاصل شود و پس از آن محلول حاصل با استفاده از کاغذ صافی و قیف درون بالن ژوژه صاف گردید. سپس، حجم محلول به‌دست آمده با استون ۸۰٪ به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و بلافاصله جذب محلول با اسپکتروفتومتر (مدل Jenway 6300) در طول موج‌های ۶۴۵ ، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها طبق روابط زیر بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر بافت گیاهی محاسبه شد:

$$Ca = 12.25 \times A_{663} - 2.79\ A_{645} \quad [۱]$$

$$Cb = 21.50 \times A_{645} - 5.10 A_{663} \quad [۲]$$

$$C_{a+b} = 7.15 \times A_{663} + 18.71 A_{645} \quad [۳]$$

$$Car = (100 A_{470} - 3.27 \times C_a - 104 \times C_b) \quad [۴]$$

که Ca کلروفیل a، Cb کلروفیل b، $C_{a+b}$ مجموع کلروفیل a و b، Car کاروتنوئیدها و A جذب است.

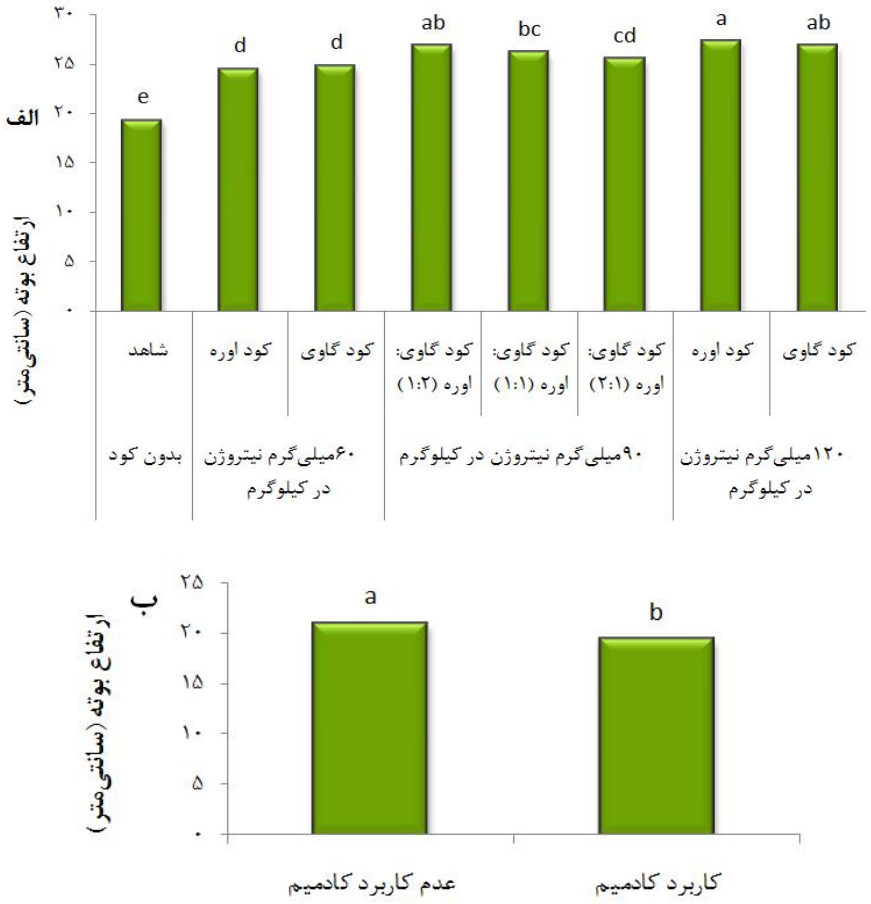
محاسبات آماری داده‌ها شامل تجزیه واریانس به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت. میانگین صفات مورد مطالعه در سطح احتمال آماری ۵٪ توسط آزمون LSD مورد مقایسه قرار گرفتند.

## نتایج و بحث

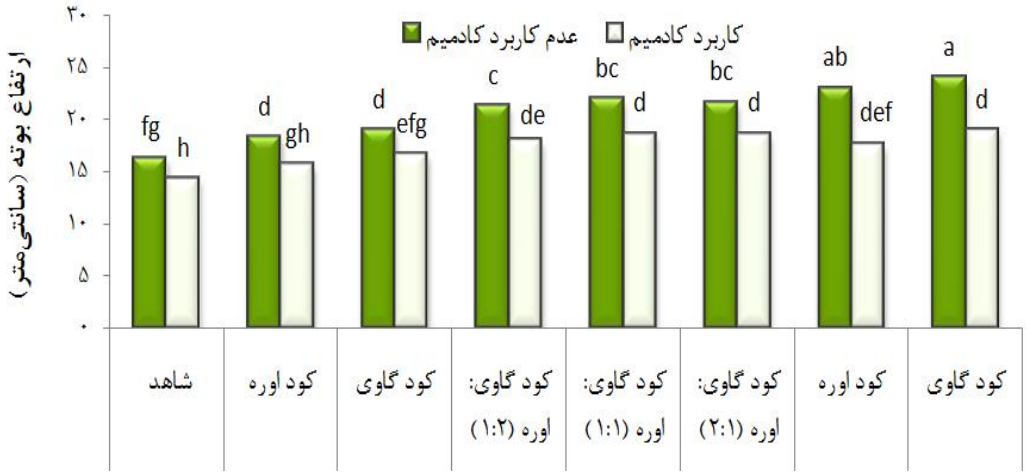
### ارتفاع بوته

تجزیه واریانس داده‌های ارتفاع بوته طی دو چین نشان داد که این صفت به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف منابع کودی و کادمیم قرار گرفت. ولی برهمکنش سطوح مختلف منابع کودی با کادمیم فقط در چین اول بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱- الف) می‌توان بیان نمود که کاربرد جداگانه یا تلفیق سطوح مختلف نیتروژن از منابع شیمیایی و آلی ارتفاع بوته را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری بهبود بخشید. البته بیشترین ارتفاع بوته با ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک از منبع کود اوره و کود گاوی حاصل شد که در چین اول با کاربرد تلفیقی ۹۰ میلی‌گرم نیتروژن از دو منبع کودی (با نسبت ۲:۱) اختلاف معنی‌داری نداشت. برای چین دوم نیز کاربرد ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره با کاربرد تلفیقی ۶۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود اوره و گاوی با نسبت‌های ۱:۱ و ۱:۲ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲). افزایش ارتفاع را می‌توان به دلیل فراهمی بیشتر نیتروژن دانست که رشد گیاه را تسریع نموده است (۲۲). این نتیجه با یافته‌های پژوهشگران دیگر تطابق داشت (۳۸).

کاربرد کادمیم به‌طور معنی‌داری در دو چین باعث کاهش ارتفاع گیاه گردید و در چین دوم در شرایط کاربرد کادمیم بیشترین ارتفاع با تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم کود گاوی حاصل شد که با هم‌سطح خود از منبع اوره اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱- ب و شکل ۲). کاهش ارتفاع در حضور کادمیم با نتایج آیدینالپ و مارینوا (۱۰) همخوانی داشت. در واقع عناصر سنگین که به بخش هوایی گیاه انتقال داده می‌شوند، به علت




**شکل ۱. اثر سطوح مختلف نیتروژن آلی و شیمیایی (الف) و کادمیم (ب) بر ارتفاع بوته چین اول گیاه دارویی خرفه. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.**




**شکل ۲. برهم‌کنش سطوح مختلف نیتروژن آلی و شیمیایی با کادمیم بر ارتفاع بوته چین دوم گیاه دارویی خرفه. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.**

**جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف نیتروژن آلی و شیمیایی و کادمیم بر ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته و کلروفیل a گیاه دارویی خرفه**

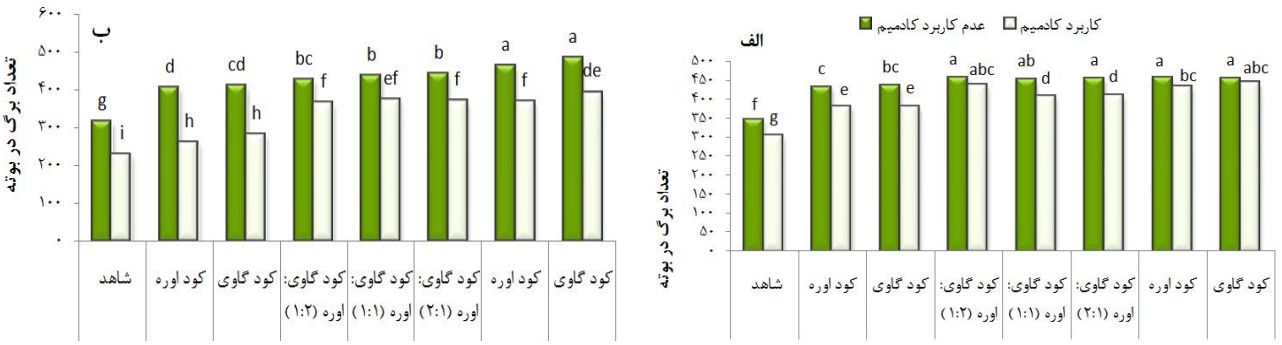
| منبع تغییر | درجه آزادی | ارتفاع بوته | | تعداد برگ در بوته | | کلروفیل a | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | چین اول | چین دوم | چین اول | چین دوم | چین اول | چین دوم |
| سطوح نیتروژن (N) | ۷ | ۳۹/۳۸$^{**}$ | ۲۴/۹۰$^{**}$ | ۹۹۷۸$^{**}$ | ۱۷۳۳۶$^{**}$ | ۱/۹۶$^{**}$ | ۲/۵۸$^{**}$ |
| کادمیم (Cd) | ۱ | ۳۰/۰۸$^{**}$ | ۱۱۷/۲$^{**}$ | ۱۵۳۳۶$^{**}$ | ۱۴۴۵۴$^{**}$ | ۶/۱۴$^{**}$ | ۳/۷۲$^{**}$ |
| N×Cd | ۷ | ۰/۴۱$^{ns}$ | ۱/۷۱$^{*}$ | ۴۱۳/۹$^{**}$ | ۱۱۹۶$^{**}$ | ۰/۰۳$^{ns}$ | ۰/۱۰$^{ns}$ |
| خطای آزمایشی | ۳۲ | ۰/۸۱ | ۰/۶۶ | ۱۳۴/۴ | ۱۵۲/۸ | ۰/۰۲ | ۰/۰۷ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۳/۶ | ۴/۳ | ۲/۸ | ۳/۴ | ۲/۷ | ۶/۵ |

$^{**}$، $^{*}$ و ns به ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

اختلال در سوخت و ساز سلولی بخش هوایی، ارتفاع گیاه را کاهش می‌دهند (۴۴).

## تعداد برگ در بوته

اثرهای تیمارهای سطوح مختلف نیتروژن و کادمیم و برهمکنش کود با کادمیم طی دو چین بر تعداد برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۳). همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در شرایط عدم کاربرد کادمیم و کاربرد کادمیم، تیمارهای سطوح مختلف نیتروژن اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند و افزایش کادمیم به خاک باعث کاهش تعداد برگ شد. برای چین اول، افزایش معنی‌داری بین تعداد برگ در تیمارهای ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منابع کودی شیمیایی و دامی مشاهده شد و این در حالی بود که کاربرد جداگانه نیتروژن تفاوت معنی‌داری با سطوح تلفیقی ۹۰ میلی‌گرم نیتروژن نشان داد. افزایش معنی‌داری بین تعداد برگ در بوته برای چین اول، با کاربرد جداگانه ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم و ۹۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم به صورت تلفیق کود اوره با کود گاوی در مقایسه با تیمارهای ۶۰ میلی‌گرم نیتروژن و شاهد(عدم مصرف کود)، احتمالاً به دلیل فراهمی نیتروژن قابل دسترس گیاه در مرحله رویشی در تیمارهای ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن و برای سطوح تلفیقی ۹۰ میلی‌گرم نیتروژن نیز ممکن است آزادسازی نیتروژن معدنی شده و هماهنگ با نیاز گیاه و انجام فرایند فتوسنتز و تولید برگ بیشتر در شرایط تلفیق (۶) عامل بوته‌های بلندتر در این تیمارها باشد (شکل ۱). در چین دوم، همانند چین اول، بیشترین تعداد برگ با ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منابع کود اوره و گاوی حاصل شد (شکل ۳- ب). در شرایط کاربرد کادمیم نیز بین تیمارهای سطوح مختلف نیتروژن با شاهد اختلاف معنی‌داری در تعداد برگ مشاهده شد و بیشترین تعداد برگ در تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی حاصل شد که با همین سطح از منبع اوره و سطح ۹۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع تلفیقی (با نسبت ۲:۱) اختلاف معنی‌داری نداشت و در کلیه تیمارها، جز تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی و تیمار تلفیقی ۹۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود اوره و کود گاوی (با نسبت ۲:۱)، کادمیم باعث کاهش تعداد برگ شد. در چین دوم نیز تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی با تیمار تلفیقی (با نسبت ۱:۱) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳ – ب). از طرفی، در شرایط استفاده از کادمیم، کاربرد سطح زیاد کود اوره با تیمار تلفیقی (۲:۱) در چین اول و کلیه سطوح تلفیق در چین دوم اختلاف معنی‌داری نشان نداد. در مطالعه یاسن و همکاران (۵۲) روی اسفناج در خاک آلوده با کاربرد کود گاوی، تعداد برگ بیشتری در مقایسه با کودهای شیمیایی (NPK) به دست آمد. در واقع، کودهای دامی از طریق مواد آلی می‌توانند زیست‌فراهمی فلزات سنگین در خاک را با جذب و یا تشکیل کمپلکس‌های پایدار (با استفاده




**شکل ۳. برهمکنش سطوح مختلف نیتروژن آلی و شیمیایی با کادمیم بر تعداد برگ چین اول (الف) و چین دوم (ب) گیاه دارویی خرفه.**

**میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.**




**شکل ۴. اثر سطوح مختلف نیتروژن آلی و شیمیایی بر میزان کلروفیل a در چین اول (الف) و چین دوم (ب) گیاه دارویی خرفه.**

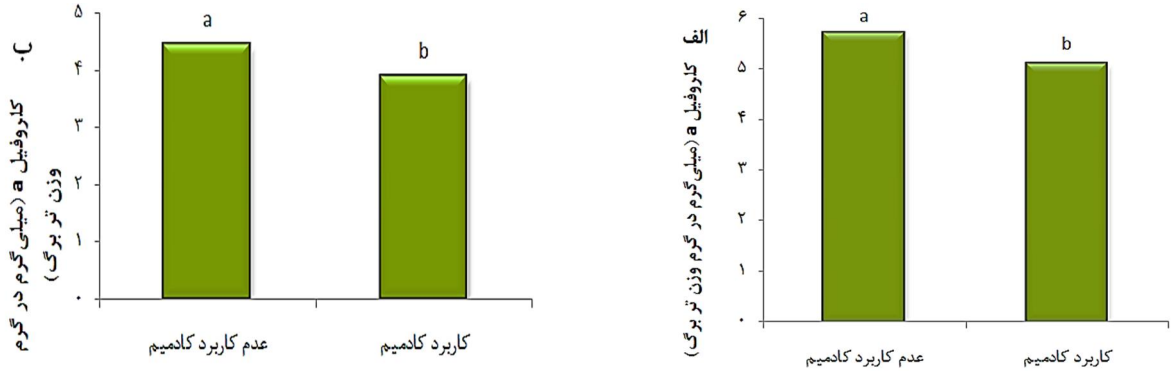
**میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.**

از مواد هومیک) کاهش دهند (۱۳ و ۳۶) و در نتیجه میزان اثر کادمیم بر تعداد برگ‌ها در چنین شرایطی کاسته شده است.

## کلروفیل a

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر کوددهی و کادمیم طی دو چین در سطح احتمال ۱٪ بر میزان کلروفیل a معنی‌دار بود. اما برهمکنش سطوح مختلف نیتروژن و کادمیم بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با افزایش نیتروژن، میزان کلروفیل a افزایش و تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی در دو چین دارای بیشترین میزان کلروفیل a بود که در چین اول با هم‌سطح خود از منبع اوره و تیمارهای تلفیقی ۹۰ میلی‌گرم نیتروژن (به نسبت‌های ۲:۱ و ۱:۱) از منابع اوره و کود گاوی اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴- الف)؛ ولی در چین دوم، با تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره اختلاف معنی‌داری نداشت. تیمار ۹۰ میلی‌گرم نیتروژن به صورت تلفیق (با نسبت‌های ۱:۱ و ۱:۲) اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره نداشت (شکل ۴- ب). نیتروژن علاوه بر ایفای نقش در تشکیل پروتئین‌ها، یک جزء لازم مولکول کلروفیل نیز می‌باشد. بنابراین، عرضه کافی نیتروژن با رشد رویشی زیاد و رنگ سبز تیره ارتباط دارد و در شرایط کمبود نیتروژن، رنگ برگ‌ها زرد می‌شود. از سوی دیگر، افزایش نیتروژن در گیاه سبب افزایش پروتوپلاسم و در نتیجه افزایش اندازه سلول و سطح برگ شده و در نهایت باعث افزایش فعالیت فتوسنتز می‌گردد (۱۸).

در شرایط کاربرد کادمیم، کلروفیل a در چین اول به میزان ۱۱٪ و در چین دوم به میزان ۱۳٪ کاهش داشت (شکل ۵- الف و ب). فلزات سنگین معمولاً از طریق مهار فعالیت آنزیم، فرایندهای متابولیک را مهار می‌کنند. بنابراین، کاهش میزان کلروفیل در اثر کادمیم، به علت مهار فعالیت آنزیم‌های بیوسنتز کلروفیل می‌باشد (۵۳). همچنین، نشان داده شده که فلزات سنگین به علت اختلال در سنتز رنگدانه کلروفیل و نیز افزایش




**شکل ۵. اثر سطوح مختلف کادمیم بر میزان کلروفیل a در چین اول (الف) و چین دوم (ب) گیاه دارویی خرفه. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.**

**جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف نیتروژن آلی و شیمیایی و کادمیم بر میزان کلروفیل b، کلروفیل a+b و کاروتنوئیدهای گیاه دارویی خرفه**

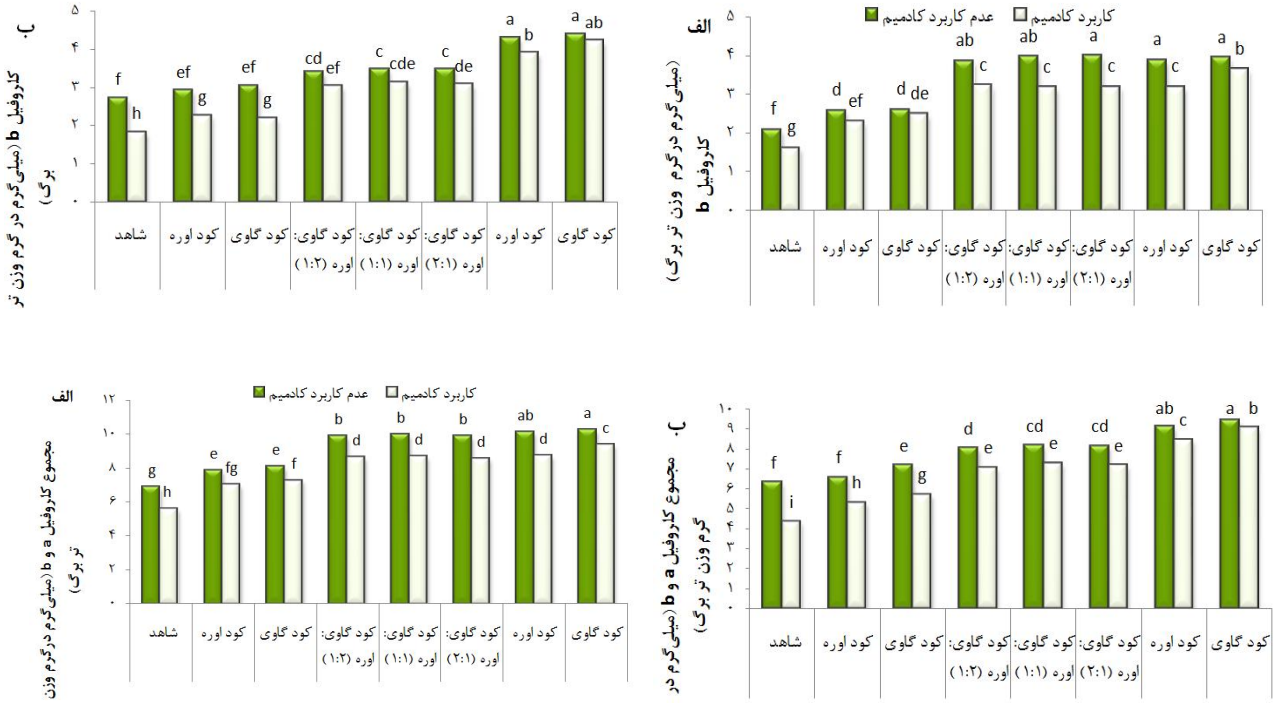
| منبع تغییر | درجه آزادی | کلروفیل b | | کلروفیل a+b | | کاروتنوئیدها | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | چین اول | چین دوم | چین اول | چین دوم | چین اول | چین دوم |
| سطوح نیتروژن (N) | ۷ | ۳/۰۲$^{**}$ | ۳/۱۰$^{**}$ | ۹/۸۴$^{**}$ | ۱۰/۹۸$^{**}$ | ۰/۱۲$^{**}$ | ۰/۳۸$^{**}$ |
| کادمیم (Cd) | ۱ | ۲/۶۱$^{**}$ | ۳/۱۲$^{**}$ | ۱۶/۷۹$^{**}$ | ۱۳/۶۴$^{**}$ | ۰/۰۹$^{**}$ | ۰/۲۶$^{**}$ |
| N×Cd | ۷ | ۰/۰۷$^{**}$ | ۰/۱۰$^{*}$ | ۰/۱۳$^{**}$ | ۰/۳۷$^{**}$ | ۰/۰۰۴ $^{ns}$ | ۰/۰۲$^{ns}$ |
| خطای آزمایشی | ۳۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۳ | ۰/۰۴ | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۲ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۵/۱ | ۶/۵ | ۱/۹ | ۲/۹ | ۷/۰ | ۱۱/۸ |

$^{**}$، $^{*}$ و ns به ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

تجزیه آن باعث کاهش در میزان کلروفیل در بافت‌های گیاهان تیمار شده با فلز می‌شوند (۲۸). چن و همکاران (۲۰) نیز گزارش کردند که نیتروژن میزان کلروفیل را افزایش و کادمیم میزان کلروفیل را کاهش می‌دهد. همچنین، نشان داده شده که غلظت $10^{-4}$ مولار کادمیوم، مقادیر کلروفیل a و کلروفیل کل را در سپیدار نسبت به شاهد کاهش می‌دهد (۳۹).

## کلروفیل b

اثرهای اصلی سطوح مختلف کودی، کادمیم و برهمکنش این دو عامل بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید (جدول ۴). همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، کاربرد نیتروژن از دو منبع کودی و کاربرد کادمیم همانند کلروفیل a به ترتیب باعث افزایش و کاهش کلروفیل b شد. در چین اول، در بین تیمارهای کودی، ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی دارای بیشترین میزان کلروفیل b بود که در شرایط عدم کاربرد کادمیم با هم‌سطح خود از منبع اوره و سطح ۹۰ میلی‌گرم نیتروژن به صورت تلفیقی از دو منبع کودی اختلاف معنی‌داری نداشت. اما در شرایط کاربرد کادمیم، با دیگر تلفیقی اختلافی نداشت (شکل ۶- الف). در چین دوم نیز تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از دو منبع کودی بیشترین میزان کلروفیل را دارا بود و کاربرد کادمیم نتوانست کلروفیل این تیمار را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد (شکل ۶- ب). با توجه به نقش کلیدی نیتروژن در ساختمان کلروفیل، به نظر می‌رسد که تأمین این عنصر دلیل افزایش کلروفیل برگ باشد. زیرا که همبستگی مثبتی بین افزایش فراهمی نیتروژن و میزان کلروفیل برگ در مطالعات مختلف گزارش شده است (۲۳ و ۲۶). علاوه

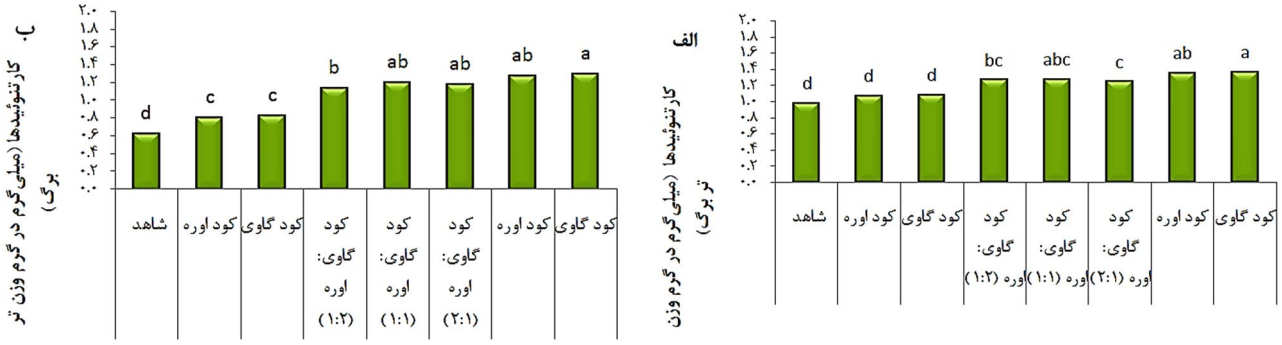



**شکل ۷. برهمکنش سطوح مختلف نیتروژن آلی و شیمیایی با کادمیم بر میزان کلروفیل a+b در چین اول (الف) و چین دوم (ب) گیاه دارویی خرفه. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.**

بر این، نیتروژن جزء مهم آمینواسیدها در پروتئین‌ها و لیپیدهاست که در ساختمان کلروپلاست نقش دارند (۹). کاهش کلروفیل با نتایج آراویند و پراسارد (۸) مطابقت داشت. آن‌ها بیان داشتند که کادمیم باعث کاهش سنتز کلروفیل از طریق جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های مؤثر در مراحل مختلف تشکیل کلروفیل می‌گردد.

## کلروفیل a+b

تأثیر کلیه عوامل آزمایشی بر مجموع کلروفیل a+b در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۴). مجموع کلروفیل a+b با افزایش میزان نیتروژن از دو منبع کودی در شرایط کاربرد و عدم کاربرد کادمیم افزایش یافت (شکل ۷). در شرایط عدم کاربرد کادمیم، با اضافه کردن ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از دو منبع کودی در دو چین، بیشترین میزان کلروفیل a+b حاصل شد. در چین اول، تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره با سطوح تلفیقی اختلاف معنی‌داری نداشت. در خاک آلوده به کادمیم، بیشترین میزان کلروفیل a+b در دو چین در تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی حاصل شد و کاربرد همین سطح از منبع اوره در چین اول با سطوح تلفیقی اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۷). بنابراین، می‌توان استنباط کرد که کاربرد کود گاوی در هر دو شرایط باعث افزایش میزان کلروفیل a، b و کلروفیل a+b و در نتیجه رشد گیاه می‌شود که با نتایج مجیدیان و همکاران (۲) همخوانی دارد. فراهمی عناصر معدنی مانند آهن و منیزیم با کاربرد کود گاوی و تلفیق آن با کود اوره می‌تواند یکی از دلایل افزایش کلروفیل برگ در این تیمارها باشد. همچنین، مقدار کلروفیل ارتباط مستقیم با نیتروژن دارد و با افزایش میزان نیتروژن، مقدار کلروفیل هم افزایش می‌یابد (۲). کاهش در میزان کلروفیل‌ها در اثر کادمیم می‌تواند به علت اثر بازدارندگی روی فعالیت مولکول‌های آن می‌باشد (۴۶). از علل دیگر کاهش کلروفیل توسط فلزات سنگین از جمله کادمیوم، تأثیر روی جمع شدن مولکول‌های کلروفیل در کمپلکس‌های رنگدانه پروتئین فتوسیستم‌ها، مهار سنتز پروتئین سیستم جمع‌آوری‌کننده نور II (LHCII) در مرحله نسخه‌برداری که منجر به فتواکسید شدن کلروفیل تازه تشکیل شده می‌گردد، اختلال در جذب آهن و سایر




**شکل ۸. اثر سطوح مختلف نیتروژن آلی و شیمیایی بر میزان کاروتنوئید برگ در چین اول (الف) و چین دوم (ب) گیاه دارویی خرفه. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.**




**شکل ۹. اثر سطوح کادمیم بر میزان کاروتنوئید برگ در چین اول (الف) و چین دوم (ب) گیاه دارویی خرفه. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.**

عناصر غذایی، جانشینی یون‌های منیزیم توسط فلزات سنگین در مولکول‌های کلروفیل می‌باشد (۳۱).

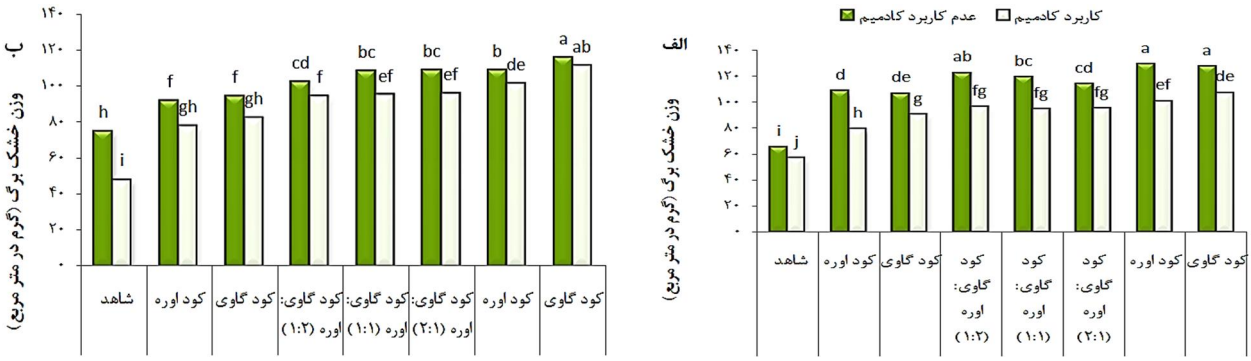
## کاروتنوئیدها

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میزان کاروتنوئیدها تحت تأثیر اثرهای اصلی سطوح مختلف نیتروژن و کادمیم قرار گرفت. اما برهمکنش دو عامل آزمایشی بر این صفت طی دو چین معنی‌دار نبود (جدول ۴). بر اساس شکل ۸ در دو چین، کاربرد دو منبع کودی به صورت جداگانه و تلفیق باعث افزایش معنی‌دار میزان کاروتنوئید برگ در مقایسه با شاهد شد. بجز سطح کودی ۶۰ میلی‌گرم نیتروژن در چین اول، همچنین کاربرد ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی در دو چین بیشترین میزان کاروتنوئید را حاصل نمود که با تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره در دو چین و ۹۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم به فرم تلفیقی ۱:۱ در چین اول و تیمار تلفیقی ۱:۱ و۱:۲ در چین دوم اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۸) کادمیم نیز باعث کاهش معنی‌دار کاروتنوئید در دو چین شد (شکل ۹). واسیلو و همکاران (۴۷) نشان دادند که کادمیم در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، غلظت کاروتنوئید کل را به میزان ۶۲٪ در گیاه لوبیا از طریق مهار بیوسنتز این رنگدانه و تنش اکسیداتیو کاهش داده است. بلکادی و همکاران (۱۱) اظهار نمودند که کادمیم میزان کاروتنوئید را از طریق تجزیه آن در گیاه کتان کاهش داده است. کاهش میزان رنگدانه‌های کاروتنوئیدی در گیاه گوجه‌فرنگی تیمار شده با کادمیم (۳۵) و کاهش در میزان کاروتنوئیدها در گیاه سورگوم تیمار شده با کادمیم (۷) تأییدی بر نتایج آزمایش حاضر می‌باشد.

**جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف نیتروژن آلی و شیمیایی و کادمیم بر وزن خشک برگ، ساقه و اندام هوایی گیاه دارویی خرفه**

| منبع تغییر | درجه آزادی | وزن خشک برگ | | وزن خشک ساقه | | وزن خشک اندام‌هوایی | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | چین اول | چین دوم | چین اول | چین دوم | چین اول | چین دوم |
| سطوح نیتروژن (N) | ۷ | ۱۹۷۲$^{**}$ | ۱۵۵۹$^{**}$ | ۱۶۱۷$^{**}$ | ۱۳۲۴$^{**}$ | ۷۱۴۹$^{**}$ | ۵۷۴۱$^{**}$ |
| کادمیم (Cd) | ۱ | ۵۳۵۸$^{**}$ | ۱۸۳۷$^{**}$ | ۴۴۷۰$^{**}$ | ۱۹۵۲$^{**}$ | ۱۹۶۱۵$^{**}$ | ۷۵۷۵$^{**}$ |
| N×Cd | ۷ | ۷۹/۵۵$^{**}$ | ۶۶/۹۵$^{**}$ | ۵۱/۸۸$^{**}$ | ۱۷۶/۸$^{**}$ | ۲۴۴/۸$^{**}$ | ۱۴۴/۳$^{**}$ |
| خطای آزمایشی | ۳۲ | ۱۹/۴۵ | ۱۵/۲۳ | ۱۳/۲۹ | ۹/۵۷ | ۴۰/۷۸ | ۲۷/۸۶ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۴/۴ | ۴/۱ | ۴/۶ | ۴/۵ | ۳/۵ | ۳/۲ |

$^{**}$ معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

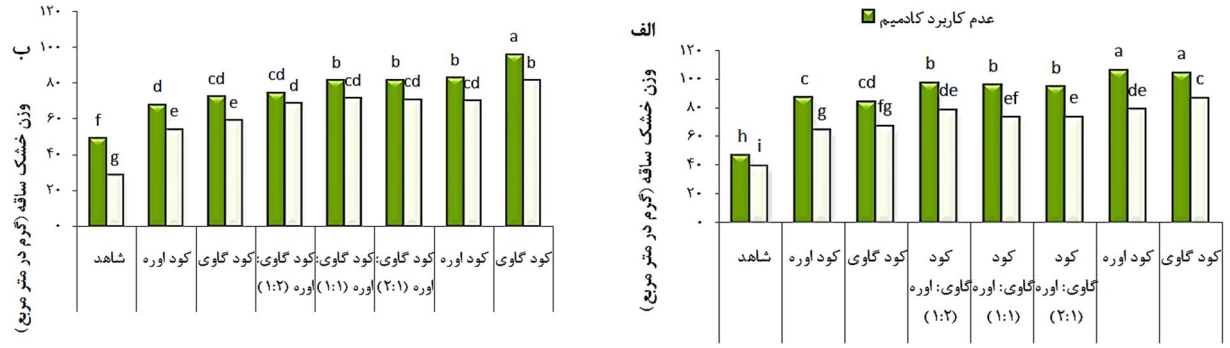



**شکل ۱۰. برهمکنش سطوح مختلف نیتروژن آلی و شیمیایی با کادمیم بر وزن خشک برگ در چین اول (الف) و چین دوم (ب) گیاه دارویی خرفه. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.**

## وزن خشک برگ

اثرهای اصلی کادمیم و کود و همچنین برهمکنش این دو عامل، بر وزن خشک برگ طی دو چین در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها حاکی است که کاربرد نیتروژن در دو سطح کادمیم باعث افزایش وزن خشک برگ در دو چین شد (شکل ۱۰). تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن به صورت جداگانه از دو منبع کودی در چین اول و تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی در چین دوم دارای بیشترین وزن خشک برگ بود که در چین اول با تیمار تلفیقی کود اوره و گاوی با نسبت ۲:۱ اختلاف معنی‌داری نداشت. در شرایط کاربرد کادمیم، تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی بیشترین وزن خشک برگ را حاصل نمود و بین سطح ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره با ۹۰ میلی‌گرم از منبع تلفیق کود اوره و گاوی در چین اول و تلفیق کود اوره و گاوی با نسبت‌های ۱:۱ و ۱:۲ در چین دوم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱۰). افزایش وزن خشک در تیمارهای دارای کود گاوی (۳۴ و ۵۲) می‌تواند به‌دلیل وجود ترکیبات متفاوتی نظیر آنیون‌ها و ترکیبات آلی و معدنی تثبیت کننده باشد که منجر به جذب و یا رسوب فلزات سنگین شده و می‌توانند قابلیت دسترسی این فلزات را در خاک‌های آلوده کاهش دهند و از این طریق به رشد گیاه در خاک‌های آلوده کمک کنند (۱۳ و ۴۸).

با توجه به شکل ۱۰، کاربرد کادمیم باعث کاهش وزن خشک برگ شد. در حقیقت، کادمیم با اختلال در فتوسنتز، تنفس و متابولیسم نیتروژن در گیاهان و اختلال در جذب عناصر غذایی و آب منجر به کاهش رشد می‌شود که به‌دنبال آن تولیدات گیاه نیز کاهش می‌یابد (۲۹).




**شکل ۱۱. برهمکنش سطوح مختلف نیتروژن آلی و شیمیایی با کادمیم بر وزن خشک ساقه در چین اول (الف) و چین دوم (ب) گیاه دارویی خرفه. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.**

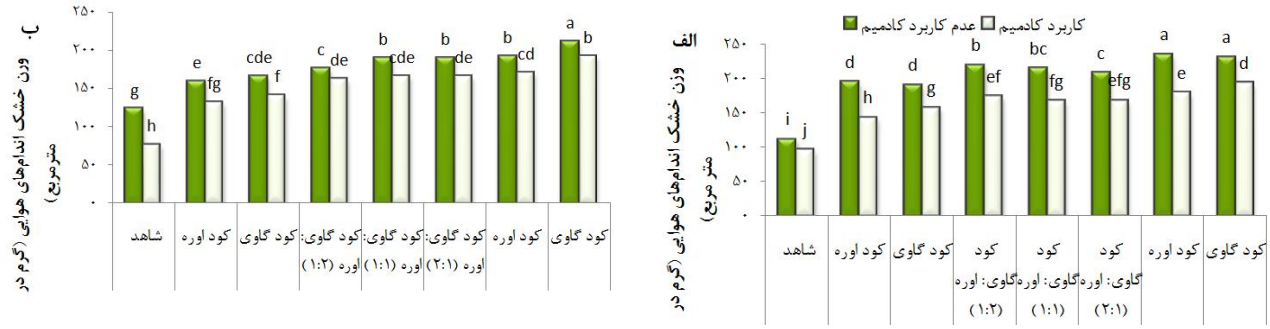
## وزن خشک ساقه

واکنش وزن خشک ساقه به کلیه عوامل آزمایشی طی دو چین در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۵). به‌طور کلی، وزن خشک ساقه با افزایش نیتروژن از دو منبع کودی افزایش یافت. ولی کادمیم باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک ساقه شد (شکل ۱۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط عدم مصرف کادمیم، در بین تیمارهای مختلف کودی، بیشترین وزن خشک ساقه در چین اول با کاربرد ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از دو منبع کودی، ولی در چین دوم با کاربرد ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی حاصل شد که نسبت به شاهد و دیگر سطوح نیتروژن افزایش معنی‌داری را نشان داد ( شکل ۱۱). در شرایط کاربرد کادمیم نیز بیشترین وزن خشک ساقه در تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی حاصل شد و کاربرد ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود اوره با ۹۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع تلفیق اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱۱). کاربرد کود گاوی به صورت جداگانه و تلفیق نه تنها در شرایط عدم مصرف کادمیم بلکه در شرایط مصرف کادمیم نیز توانسته است وزن خشک ساقه را حتی بیشتر از کود اوره افزایش دهد. افزایش ماده آلی با کاربرد کود گاوی عاملی برای توسعه کادمیم باند شده با مواد آلی می‌باشد. بنابراین، حلالیت و تبادل برخی از فلزات سنگین تغییر می‌کند. از طرفی، مواد آلی مکان‌های جذب سطحی ویژه‌ای را برای فلزات فراهم می‌کنند که جابه‌جایی و تحرک آنها را دشوار می‌کند (۵۲) و با کمپلکس فلزات سنگین و کاهش سمیت آنها شرایط رشدی مناسب‌تری را نسبت به کود شیمیایی فراهم می‌کند (۴۹). گزارش شده است که کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود گاوی در خاک تیمار شده با ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم باعث افزایش ۱۵۲ درصدی وزن خشک ساقه در مقایسه با شاهد شد (۵).

## وزن خشک اندام‌هوایی

تأثیر کلیه عوامل آزمایشی بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۵). در شرایط کاربرد کادمیم، طی دو چین، تیمار ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع کود گاوی بیشترین وزن خشک اندام هوایی را دارا بود و کاربرد ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از منبع اوره با کاربرد تلفیقی ۹۰ میلی‌گرم نیتروژن از دو منبع کودی اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱۲). در واقع، کاربرد کود گاوی نه تنها در خاک آلوده به کادمیم وزن خشک اندام‌هوایی بیشتری را دارا بود بلکه در شرایط عدم کاربرد کادمیم نیز دارای وزن خشک اندام هوایی بالایی بود. با این حال، با هم‌سطح خود از منبع اوره در چین اول اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱۲).

با افزایش نیتروژن از منبع کود اوره و کود گاوی وزن




**شکل ۱۲. برهمکنش سطوح مختلف نیتروژن آلی و شیمیایی با کادمیم بر وزن خشک اندام هوایی در چین اول (الف) و چین دوم (ب) گیاه دارویی خرفه. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشابه، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.**

خشک اندام‌هوایی افزایش یافت که با نتایج شارما و آگراوال (۴۵) و ابوسوار و الزیلال (۳) هماهنگ بود. به نظر می‌رسد در کاربرد جداگانه ۱۲۰ میلی‌گرم نیتروژن از دو منبع کودی با در دسترس قرار دادن نیتروژن معدنی شده در مرحله رویشی و هماهنگ با نیاز گیاه برای فتوسنتز بیشتر توانسته موجب افزایش نسبی ماده خشک برگ و ساقه (شکل‌های ۱۰ و ۱۱) و در نتیجه افزایش ماده خشک اندام هوایی در این تیمارها شود (شکل ۱۲). در تیمارهای کود گاوی نیز احتمالاً به دلیل وجود نیتروژن و سایر عناصر غذایی، و برهمکنش این عناصر با یکدیگر منجر به ایجاد شرایط اسیدی در خاک، و جذب نسبتاً خوب عناصر غذایی شده است. پس بعید نیست که اثر تغذیه‌ی عناصر غذایی تیمارهای یاد شده در پیکره گیاه منجر به افزایش ماده خشک اندام هوایی گردد. در بررسی اثر سطوح مختلف کمپوست کود مرغی (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و سطوح مختلف کادمیم (صفر، ۲، ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ) بر گندم گزارش شد که با افزایش میزان کمپوست عملکرد گیاه در شرایط کاربرد و عدم کاربرد کادمیم افزایش یافت که در شرایط عدم کاربرد کادمیم عملکرد این محصول بیشتر بود (۳۴). کودهای آلی عموماً به دلیل اثر مثبت روی تولیدات گیاه، بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و دارا بودن ترکیبات آلی و معدنی تثبیت کننده منجر به جذب و یا رسوب فلزات سنگین شده و می‌توانند قابلیت دسترسی این فلزات را در خاک‌های آلوده و سمیت فلزات رشد گیاه را کاهش دهند (۱۳، ۴۸ و ۵۲) و شرایط رشدی مناسب‌تری را نسبت به کود شیمیایی فراهم کنند (۵۲).

## نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تنش کادمیم سبب کاهش پارامترهای مورفولوژیک و فیزیولوژیک مؤثر در تولید ماده خشک خرفه می‌گردد. ولی کاربرد نیتروژن، خصوصاً از منبع کود گاوی، اثرهای نامطلوب تنش کادمیم بر پارامترهای رشدی این گیاه را تعدیل می‌نماید و از این رو راهکاری اثربخش در جلوگیری از کاهش تولید محصول خرفه خواهد بود.

## سپاسگزاری

بدین وسیله از مساعدت مالی دانشگاه شهرکرد در اجرای این پژوهش قدردانی می‌گردد.

## منابع مورد استفاده

۱. کریمیان، ن. ۱۳۷۷. پیامدهای زیادهروی در مصرف کودهای شیمیایی فسفر. مجله خاک و آب، ۱۲ (۴):۱۴-۱.

۲. مجیدیان، م.، ا. قلاوند، ن. کریمیان و ع.ا. کامکار حقیقی. ۱۳۸۷. تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن، کود دامی و آب آبیاری بر عملکـرد و اجزای عملکرد ذرت. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، ۱(۲): ۸۵-۶۵.

3. Abusuwar, A. O. and H. A. Elzilal. 2010. Effect of chicken manure on yield, quality and HCN concentration of two forage sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) cultivars. Agri. Biol. J. North America. 1(1):27-31.
4. Ahumada, I., P. Escudero, M. Adriana Carrasco, G. Cas tillo, L. Ascra and E. Fuentes. 2004. Use of sequential extraction to assess the influence of sewage sludge amendment on metal mobility in Chilean soils. J. Environ. Monit. 6: 327–334.
5. Alamgir, M., M.G. Kibria and M. Islam. 2011. Effects of farmyard manure on cadmium and lead accumulation in amaranth (*Amaranthus oleracea* L.). J. Soil Sci. Environ. Manage. 2(8): 237-240.
6. Alizade, P., S. Fallah and F. Raeisi. 2012. Potential N mineralization and availability to irrigated maize in a calcareous soil amended with organic manures and urea under field conditions. Int. J. Plant Prod. 6(4): 493-512.
7. Alsokari, S. S. 2009. Modulatory role of kinetin on photosynthetic characteristics, yield and yield attributes of cadmium-treated *Sorghum bicolor* plants. J. Appl. Sci. Res. 5(12): 2383-2396.
8. Aravind, P. and M.N.V. Prasad. 2003. Zinc alleviates cadmium-induced stress in *Ceratophyllum demersum* L. :a free floating freshwater macrophyte. J. Plant Physiol. Biochem. 41:391-397.
9. Arisha, H. M. and A. Bradisi. 1999. Effect of mineral fertilizers and organic fertilizerss on growth, yield and quality of potato under sandy soil conditions. J. Agric. Res. 26: 391–405.
10. Aydinalp, C. and S. Marinova. 2009. The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa (*Medicago sativa*) plant. Bulg. J. Agric. Sci. 15: 347-350.
11. Belkhadi, A., H. Hediji, Z. Abbes, I. Nouairi, Z. Barhoumi, M. Zarrouk, W. Chabi and W. Djebali. 2010. Effects of exogenous salicylic acid pre-treatment on cadmium toxicity and leaf lipid content in *Linum usitatissimum* L. Ecotox. Environ. Safe. 73: 1004–1011.
12. Brown, S. L., R. L. Chaney, J. S. Angle and J. A. Ry an. 1998. The phytoavailability of cadmium to lettuce in long-term biosolids-amended Soils. J. Environ. Qual. 27: 1071-1078.
13. Brown, S.L., C.L. Henry, R. Chaney, H. Compton and P.S. DeVolder. 2003. Using municipal biosolids in combination with other residuals to restore metal-contaminated mining areas. J. Plant. Soil. 249: 203-215.
14. Buah, S.S.J. and S. Mwinkaara. 2009. Response of sorghum to nitrogen fertilizer and plant density in the Guinea Savanna Zone. J. Agron. 8(4): 124-130.
15. Bulluk, L.R., M. Brosius, G.K. Evanylo and B. Ristaino. 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. Appl. Soil. Ecol. 19: 147-160.
16. Chaiyarat, R., R. Suebsima, N. Putwattana, M. Kruatrachue and P. Pokethitiyook. 2011. Effects of soil amendments on growth and metal uptake by ocimum gratissimum grown in Cd/Zn-contaminated soil. Water. Air. Soil. Poll. 214: 383-392.
17. Chan, K., M.W. Islam, M. Kamil, R. Radhakrishnan, M.N. Zakaria and A. Attas. 2000. The analgesic and anti-infiammatory effects of portulaca oleracea L. Subsp. Sativa (Haw) celak . J.Ethnopharmacol. 73: 445 – 451.
18. Chapman, S.C. and H.J. Barreto. 1995. Using achlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. J. Agron. 89: 557-562.
19. Chauhan, B.S. and D.E. Johnson. 2009. Seed germination ecology of *Portulaca oleracea* L.: an important weed of rice and upland crops. Ann. Appl. Biol. 155(1): 61-69.
20. Chen, T., X. Liu, X. Li, K. Zhao, J. Zhang, J. Xu, J. Shi and R.A. Dahlgren. 2009. Heavy metal sources identification and sampling uncertainty analysis in a filed- scaie vegetable soil of Hangzhou, China. Environ. Pollut. 157: 1003-1010.
21. Chiu, K.K., Z.H. Ye and M.H. Wong. 2006. Growth of vetiveria zizanioides and phragmities australis on Pb/Zn and Cu mine tailings amended with manure compost and sewage sludge: a greenhouse study. Bioresour. Technol. 97: 158-170.

22. Cortez, J. and R.H. Hameed. 2001. Simultaneous effects of plants and earthworms on mineralization of 15 N–labeled organic compounds adsorbed onto soil size fractions. Biol. Fert. Soils. 33: 218-2.
23. DaMatta, F.M., R.A. Loos and M.E. Loureiro. 2002. Limitations to photosynthesis in *Coffea canephoraas* a result of nitrogen and water availability. J. Plant. Physiol. 159: 975-981.
24. Das, P., S. Samantary and G.R. Rout. 1997. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. Environ. Pollut. 98: 29- 36.
25. Davis, W. 2008. Avertin Arrhythmias with Omega-3 Fatty Acid. Life Extension Magazine. Available web: http://www.lef.org/magazine.
26. Ding, L., K.J. Wang, G.M. Jiang, L.F. Li and Y.H. Li. 2005. Effects of nitrogen deficiency on photosynthetic traits of maize hybrids released in different years. J. Ann. Bot. 96: 925-930.
27. Engelhart, M., M. Kruger, J. Kopp and N. Dichtl. 2000. Effect of disintegration on an aerobic degradation of sewage excess sludge in downflow stationary fixed film digesters. Water Sci. Technol. 41: 171–179.
28. Gajewska, E., M. Sklodowska, M. Slaba and J. Mazur. 2006. Effect of nickel on antioxidative enzyme activities, proline and chlorophyll contents in wheat shoots. Biol. Plantarum. 50(4): 653-659.
29. Gouia, H., M.H. Ghorbal and C. Meyer. 2001. Effect of cadmium on activity of nitrate reductase and on other enzymes of the nitrate assimilation pathway in bean. J. Plant Physiol. 38:629-638.
30. Hettiarachchi, G. M., J. A. Ryan, R. L. Chaney and C. M. La Fleur. 2003. Sorption and desorption of cadmium by different fractions of biosolids-amende d soils. J. Environ. Qual. 32: 1684-1693.
31. Horvath, G., M. Droppa, A. Oravecz, V.I. Raskin and J.B. Marder. 1996. Formation of the photosynthetic apparatus during greening of cadmium poisoned barley leaves. Planta. 199: 238–243.
32. Kirkham, M.B. 2006. Cadmium in plants on polluted soils: effects of soil factors hyper accumulation and amendments. Geoderma. 137: 19-32.
33. Lichtenthaler, H. 1987. Chlorophylls andcarotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Meth. Enzymol. 148: 350-383.
34. Liu, L., H. Chen, P. Cai, W. Liang and Q. Huang. 2009. Immobilization and phytotoxicity of Cd in contaminated soil amended with chicken manure compost. J. Hazard. Mater. 163: 563-567.
35. Lopez-Millan, A.F., R. Sagardoy, M. Solanas, A. Abadya and J. Abad. 2009. Cadmium toxicity in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants grown in hydroponics. Environ. Exp. Bot. 65: 376–385.
36. Ludwig, R.D., R.G. McGregar, D.W. Blowes, S.G. Benner and K. Mountjoy. 2002. A permeable reactive barrier for treatment of heavy metals. Ground Water 40: 59-66.
37. Mauskar, J.M. 2007. Cadmium an environment toxicant central pollution control board ministry of environment and forests Govt of India Parivesh Bhawan East Arjun Nagar. Delhi-110032.
38. Mesfin, T., G.B. Tesfahunegn, C.S. Wortmann, O. Nikus and M. Mamo. 2009. Tied-ridging and fertilizer use for sorghum production in semi-arid Ethiopia. Nutr. Cycl. Agroecosys. 85:87-94.
39. Nikolic, N., D. Kojic, A. Pilipovic, S. Pajevic, B. Krstic, M. Borisev and S. Orlovic. 2008. Responses of hybrid poplar to cadmium stress: photosynthetic characteristics, cadmium and proline accumulation, and antioxidant enzyme activity. Acta Biol. Cracov. Ser. Bot. 50(2): 95-103.
40. Parmar, D.K. and T.R. Sharma.1998. Integrated nutrient supply system for DPPG8, vegetable pea *(Pisum sativum* Var aravense*)* in dry temperate zone of Himachal Pradesh. Indian J. Agric Sci. 68: 247-253.
41. Robinson, B.H., T.M. Mills, D. Petit, L.E. Fung, S.R. Green and B.E. Clothier. 2000. Natural and inuced cadmium-accumulation in poplar and willow: implications for phytoremediation. J. Plant Soil. 227: 301-306.
42. Samy, J., M. Sugumaran, K.L.W. Lee and K.M. Wong. 2005. Herbs of Malaysia: an Introduction to the medicinal, culinary, aromatic and cosmetic use of herbs. Selangor: Federal Publications. 244p.
43. Scancar, J., R. Milacic, M. Strzar, O. Burica and P. Bukovec. 2001. Environmentally safe sewage sludge disposal: The impact of liming on the behavior of Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn. J. Environ. Eng. 3: 226-231.
44. Shanker, A., K.C. Cervantes, H. Loza-Tavera and S. Avudainayagam. 2005. Chromium toxicity in plants. Environ. Int. 31(5): 739-753.
45. Sharma, K.C. and R.K. Agrawal. 2003. Effect of chemical fertilizers and vermicompost on the productivity and economics of forage sorghum and their residual effects on oat. Range Manag. Agrofor.

24:127-131.
46. Simopoulos, A.P. 2004. Omega-3 fatty acids and antioxidants in edible wild plants. Biol Res. 37: 263–277.
47. Vassilev, A., M. Berova, N. Stoeva and Z. Zlatev. 2005. Chronic Cd toxcity of bean plants can be partially reduced by supply of ammonium sulphate. Department. Plant Physiol. Biochem. 6(3): 389-396.
48. Walker, D.J., R. Clemente, A. Roig and M.P. Bernal. 2003. The effects of soil amendments on heavy metal bioavailability in two contaminated Mediterranean soils. Environ Pollut. 122: 303-312.
49. Wangstrand, H., J. Eriksson and V. Born. 2007. Cadmium concentration in winter wheat as affected by nitrogen fertilization. J. Agron. 26: 209-214.
50. Xiang, L., D. Xing, W. Wang, R. Wang, Y. Ding and L. Du. 2005. Alkaloids from *Portulaca oleracea* L. Phytochem. 66: 26-2595.
51. Xu, Q.S., J.Z. Hu, K.B. Xie, H.Y. Yang, K.H. Du and G.X. Shi. 2010. Accumulation and acute toxicity of siler in *Potamogetom crispus* L. J. Hazard Mater. 173: 186-193.
52. Yassen, A.A., M. Nadia and M. Badran. 2007. Role of some organic residual as tools for reducing heavymetals hazard in plant. World. J. Agric. Sci. 3(2): 204-209.
53. Zengin, F.K. and O. Munzuroglu. 2005. Effects of some heavy matals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. Acta. Biol. Cracov. Ser. Bot 47: 157-164.